



ESBJERG KOMMUNE OVERSVØMMELSESKORTLÆGNING

MAJ 2024

Projekt navn	DK2020 Oversvømmelseskortlægning
Kunde	Esbjerg Kommune
Projektleder	Christian Kristensen, WSP
Projekt nummer	22001638, WSP
Til	Bodil Ankjær Nielsen, Esbjerg Kommune
Udarbejdet af	Alex Arberg, Morten Engholm Larsen, Mathias Jepsen, WSP
Kvalitetssikret af	Line Bønnelycke Nørgaard, WSP
Godkendt af	Rasmus Bang, WSP
Version	2
Versionsdato	16. maj 2024
Første udgivelsesdato	26. januar 2023

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	INDLEDNING	4
2	OVERBLIK OVER DATALEVERANCE	5
3	OVERSVØMMELSESKORT	7
3.1	TERRÆNNÆRT GRUNDVAND	7
3.2	KOMBINERET GRUNDVANDS- OG NEDBØRSKORT	7
3.2.1	<i>Grundvand</i>	7
3.2.2	<i>Nedbør</i>	8
3.3	OVERSVØMMELSE I MARSKEN	9
3.4	OVERSVØMMELSE FRA SKYBRUD.....	11
3.5	OVERSVØMMELSE FRA VANDLØB.....	12
3.5.1	<i>Geometri</i>	13
3.5.2	<i>Hydrometri</i>	14
3.5.3	<i>Randbetingelser ved hav</i>	16
3.5.4	<i>Modstandsforhold</i>	16
3.6	OVERSVØMMELSE FRA STORMFLOD	18

1 INDLEDNING

Dette notat omhandler kortlægningen af oversvømmelsesrisiko i Esbjerg Kommune i forbindelse med DK2020 – *Klimaplaner for hele landet*. Formålet med DK2020 er at støtte danske kommuners bidrag til at nå Parisaftalens målsætninger. Aftalen omhandler en netto-nul CO₂ udledende verden i 2050 samt at afbøde de negative konsekvenser af klimaforandringerne. DK2020 omhandler blandt andet en udarbejdelse af Klimahandleplaner efter en fælles standard, som skal anvise konkrete muligheder for at reducere udledningen af klimagasser og hvordan konsekvenserne af fremtidige klimaforandringer skal håndteres.

Som værktøj under realiseringen af tidssvarende mål for, hvordan klimatilpasningsudfordringerne skal håndteres, har Esbjerg Kommune bedt WSP om at udarbejde opdaterede oversvømmelsesberegninger baseret på den nyeste viden. Kortlægningen omfatter sandsynlighedsberegninger for oversvømmelse fra nedbør, vandløb og havet i hele kommunen. Hertil omfatter kortlægningen en beskrivelse af det terrænnære grundvand.

Oversvømmelseskortlægningen er udarbejdet for en række hændelser, som kan forventes under nuværende forhold og fremtidige klimascenarier. Klimascenarierne er udarbejdet iht. IPCCs fremskrevne udledningsscenario RCP8.5 i år 2100 og i Tabel 1.1 ses en oversigt over beregningsscenarierne og de udarbejdede oversvømmelseskort.

Dette afleveringsnotat beskriver dataindhold i afleveringen samt en præsentation af beregningsforudsætningerne.

Tabel 1.1 Oversigt over beregningsscenarier i DK2020 oversvømmelseskortlægningen

GENTAGELSESPERIODE	NUVÆRENDE FORHOLD	KLIMASCENARIO RCP8.5 ÅR 2100
Vintermiddel	Grundvandsstandskort	Grundvandsstandskort
1-års hændelse – Nedbør & grundvand	Kombineret grundvands- og nedbørskort	Kombineret grundvands- og nedbørskort
Marskoversvømmelse	Oversvømmelseskort	Oversvømmelseskort
5-års hændelse	Skybrudskort Vandløbskort	Skybrudskort Vandløbskort
10-års hændelse	Skybrudskort Vandløbskort	Skybrudskort Vandløbskort
20-års hændelse	Skybrudskort Vandløbskort Stormflodskort	Skybrudskort Vandløbskort Stormflodskort
50-års hændelse	Skybrudskort Vandløbskort Stormflodskort	Skybrudskort Vandløbskort Stormflodskort
100-års hændelse	Skybrudskort Vandløbskort Stormflodskort	Skybrudskort Vandløbskort Stormflodskort

2 OVERBLIK OVER DATALEVERANCE

TERRÆNNÆRT GRUNDEVAND

Det terrænnære grundvand er kortlagt som afstanden fra terræn til det nærmeste grundvandsspejl. Beregningen er gennemført for en gennemsnitlig vinterhændelse under de fremtidige klimaforhold. Data er beskrevet på baggrund af resultater fra den nationale HIP-kortlægning (Hydrologisk Information- og Prognoseværktøj) udarbejdet af GEUS.

Kortene er udarbejdet som rasterfiler, som indeholder informationer om afstanden fra terræn til grundvandsspejlet under nuværende forhold og klimafremskrevet. Rasterfilerne er vektoriseret til shape-filer indeholdende faste intervaller for afstanden fra terræn til grundvandsspejlet.

KOMBINERET GRUNDEVANDS- OG NEDBØRSKORT

I flere områder i Esbjerg Kommune opleves der oversvømmelser fra nedbør i vinterperioden. Denne nedbør kan sjældent karakteriseres som skybrud og oversvømmelserne er ofte resultatet af langvarige våde perioder, hvor jorden er vandmættet.

Udbredelsen af nedbøren i vinterperioden er udarbejdet ud fra en Scalgo Live nedbørskortlægning kombineret med en kortlægning af, hvor jorden er vandmættet.

Oversvømmelser i vinterperioden er kortlagt under nuværende forhold og klimafremskrevet for hændelser med en gentagelsesperiode på 1 år.

Kortene er udarbejdet som rasterfiler, der indeholder informationer om vanddybde på terræn. Rasterfilerne er vektoriseret til shape-filer, som indeholdende faste intervaller for vanddybderne.

MARSKOVERSVØMMELSE

Oversvømmelseskortlægning af marskområdet indenfor Esbjerg Kommune. Kortlægningen er foretaget på baggrund af målte vandstande i hovedvandløbene i marsken og den stuvningsgrad der opleves under længerevarende hændelser med lukkede sluser og høj vandtilstrømning fra marskens store vandopland i løbet af de våde vintermåneder.

SKYBRUDS OVERSVØMMELSE

Oversvømmelseskortlægningen fra skybrud omfatter både kortlægningen i byerne og i det åbne land. Oversvømmelseskortlægning fra nedbør er udarbejdet som bluespot analyser i SCALGO Live. Nedsivning og magasinering i jordmatricen i det åbne land, samt kapaciteten i afløbssystemet i byerne, er indregnet som et fradrag i nedbørsdybden.

Kortene omfatter 5 gentagelsesperioder for de to beregningsscenarier (se Tabel 1.1), hvilket giver samlet 10 kortlægninger. Kortene er udarbejdet som samlede rasterfiler, som indeholder informationer om vanddybde på terræn. Rasterfilerne er vektoriseret til shape-filer indeholdende faste intervaller for vanddybderne.

VANDLØBS OVERSVØMMELSE

Oversvømmelseskortlægning fra vandløb er udarbejdet ved 2 forskellige typer analyser.

- Scalgo Live vandløbsberegninger gennemført på baggrund af en geometrisk beskrivelse af udvalgte vandløb ud fra vandløbsopmålinger
- Scalgo Live vandløbsberegninger gennemført på baggrund af en geometrisk beskrivelse af vandløbene ud fra den landsdækkende digitale terrænmodel. Kortlægningen er udført i forbindelse med en samlet oversvømmelseskortlægning udført for hele Region Syddanmark

Kortene omfatter 5 gentagelsesperioder i de 2 beregningsscenarier (se Tabel 1.1), hvilket giver samlet 10 kortlægninger. Kortene er udarbejdet som rasterfiler, der indeholder informationer om vanddybde på terræn. Rasterfilerne er vektoriseret til shape-filer indeholdende faste intervaller for vanddybderne.

STORMFLOD OVERSVØMMELSE

Oversvømmelseskortlægning fra havvand er udarbejdet med stormflodsværktøjet i SCALGO Live. Stormflodshændelserne er baseret på data fra DMI's klimaatlas.

Kortene omfatter 3 gentagelsesperioder i de 2 beregningsscenarier (se Tabel 1.1), hvilket giver samlet 6 kortlægninger. Kortene er udarbejdet som rasterfiler, der indeholder informationer om vanddybde på terræn. Rasterfilerne er vektoriseret til shape-filer indeholdende faste intervaller for vanddybderne.

3 OVERSVØMMELSESKORT

3.1 TERRÆNNÆRT GRUNDVAND

Til grundvandskortlægningen er der anvendt data fra HIP (hip.dataforsyningen.dk), der er udarbejdet under den Fællesoffentlige Digitaliseringsstrategi (2016-2020) og er beregnet af GEUS. HIP er modeldata fra den landsdækkende MIKE SHE model (Danmark-modellen), der bl.a. beskriver afstanden fra terræn til det terrænnære grundvand.

I dataudstillingen af HIP er samtlige modelrelaterede data gjort tilgængelige, både randbetingelser, måledata fra pejlinger, jordbundsforhold mm. En stor del af data kan tilgås via <https://hip.dataforsyningen.dk/>. Det data, som ikke findes der, kan downloades via kortforsyningens FTP-server.

Blandt resultatdata findes lag fra historiske modelberegninger (1990-2019), der angiver en afstand fra terræn til grundvand under en række forskellige hændelser. For de fremskrevne data findes data for de to klimascenarier RCP4.5 og RCP8.5 for både nær fremtid (2041-2070) og fjern fremtid (2071-2050) – HIP viser altså i alt 5 forskellige scenarier.

I dette afsnit, hvor WSP ikke selv har tilvejebragt data eller modeller, henvises der til dokumentationen, som er tilgængelig på hip.dataforsyningen.dk.

I udarbejdelsen af grundvandskortlægningen er data tilvejebragt ved at tage data for en vintermiddel afstand til grundvandet under nuværende forhold i rasterceller på 10x10m. HIP-data for ændringslagene, altså den klimaændring der sker i grundvandsstanden under vintermiddel forhold, er angivet i rasterformat med rasterceller på 100x100m. Disse ændringer er lagt til data for nuværende forhold for at få en fremtidig afstand til grundvandsstanden.

Efter ovenstående metode er vintermiddel afstanden fra terrænoverfladen til grundvandet bestemt ved klimafremskrevne forhold år 2100 efter RCP-scenarie 8.5 i Esbjerg Kommune.

3.2 KOMBINERET GRUNDVANDS- OG NEDBØRSKORT

I kortlægning af oversvømmelse fra nedbør er fokus oftest rettet mod skybrud med lange gentagelsesperioder som forekommer sjældent. Disse nedbørshændelser er ofte kortvarige og forekommer om sommeren, hvor jorden er tør, og kan aflede og/eller magasinere en stor del af nedbøren.

I flere områder opleves der også oversvømmelser fra nedbør i vinterperioden. Denne nedbør kan sjældent karakteriseres som skybrud og oversvømmelserne er ofte resultatet af langvarige våde perioder, hvor jorden er vandmættet og derfor hverken kan aflede eller magasinere nedbøren.

Hyppigheden for oversvømmelser i vinterperioden er i nogle områder ofte langt større end hyppigheden for skybrud. Derfor er det i en kortlægning af oversvømmelsessandsynligheden fra nedbør også vigtigt, at der udarbejdes oversvømmelseskort for vinternedbøren.

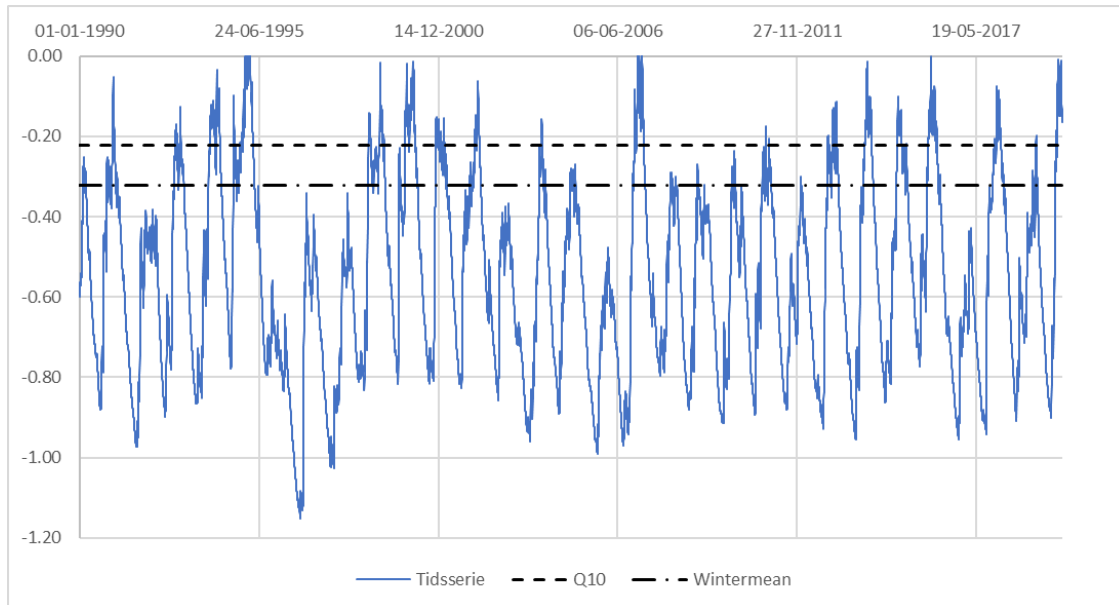
Metoden til udarbejdelse af oversvømmelseskort for vinternedbør er beskrevet i det følgende. I metoden er grundvandskortlægningen medtaget i nedbørskortlægningen, som et udtryk for de områder, hvor jorden ikke kan aflede eller magasinere som følge af højtstående grundvand.

3.2.1 GRUNDVAND

For at vurdere, hvor en høj grundvandsstand i vinterperioden kan medføre problemer med afledning af vinternedbør er der udtrukket data fra GEUS' landsdækkende kortlægning af terrænnært grundvand. Kortlægningen er baseret på beregninger med DK-modellen for en periode på 30 år (1990-2019). I modellen indgår en lang række vandløb mens dræn ikke er medtaget. Modellen er gennemført med en diskretisering på 100 m. Resultaterne af modelberegningerne er frit tilgængelige og findes på hip.dataforsyningen.dk.

På baggrund af modelberegningerne er der lavet statistik for afstanden til det terrænnære grundvand. Til vurderingen af, hvor grundvandet vil stå højest og være en udfordring for nedbør i vinterperioden er 10% percentil for afstanden til grundvandet udtrykket af modelresultaterne.

På Figur 3.1 ses døgnmiddelfstanden til det terrænnæregrundvand i et udvalgt punkt.



Figur 3.1 Beregnet døgnmiddelfstanden til grundvandet for et udvalgt punkt i testområdet.

Foruden døgnmiddelfstanden til grundvandet er vintermiddelfstanden og 10% percentilen for afstanden til grundvandet også angivet på Figur 3.1. Som det fremgår, er afstanden til det terrænnære grundvand for 10 % percentilen ca. 10 cm kortere end vintermiddelfstanden. 10 % percentilen kan ses som et udtryk for afstanden til det terrænnære grundvand i den vådeste måned om året (36 dage).

Med udgangspunkt i højdemodellen, som ligger til grund for DK-modellen og den detaljerede landsdækkende højdemodel, er afstanden til det terrænnære grundvand for 10 % percentilen omregnet til et 0,4 m grid.

3.2.2 NEDBØR

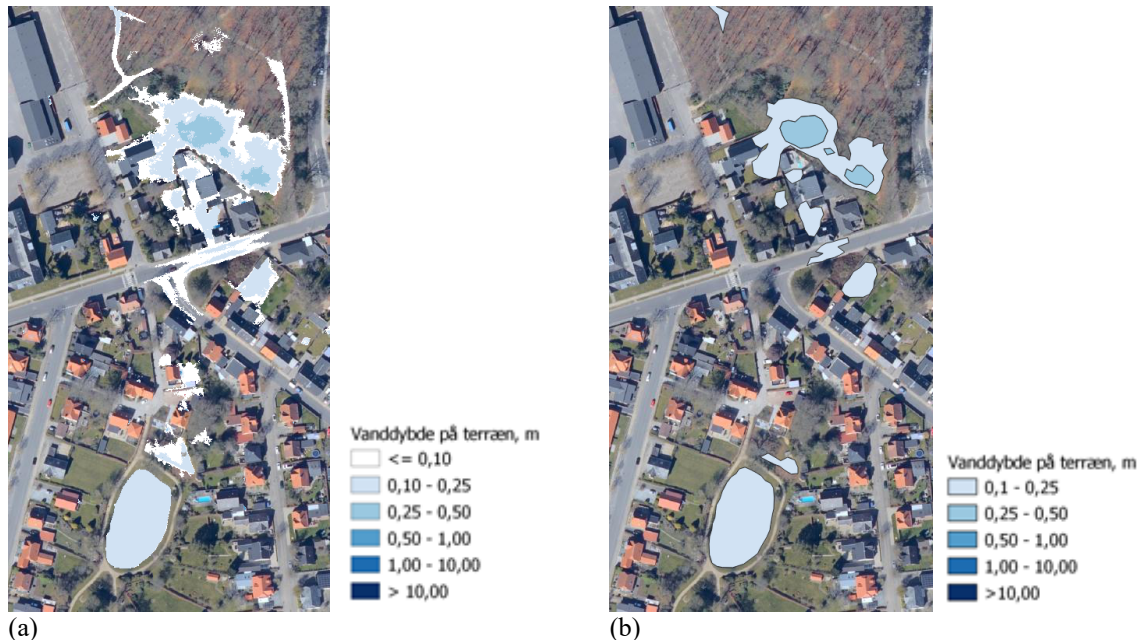
Som beskrevet indledningsvist er det en kombination af langvarig vinternedbør og høj grundvandsstand som typisk forårsager oversvømmelserne fra nedbør i vinterperioden. Den høje grundvandsstand er resultatet af langvarig nedbør og en stor del af nedbøren indgår derfor i 10 % percentilen for afstanden til det terrænnære grundvand.

I DMI's klimaatlas er antallet af døgn med nedbør større end 10 mm angivet for de 4 årstider. For Esbjerg Kommune er det angivet, at der i vinterperioden er 5 dage om året, hvor døgnnedbøren er større end 10 mm. Klimafremskrevet til år 2100 efter RCP8.5 vil dette ændres til 8 dage om året i vinterperioden.

I metoden forudsættes det, at jorden hverken kan aflede eller magasinere 10 mm nedbør i de områder, hvor grundvandsstanden står mindre end 0,25 m under terræn. I Scalgo Live er der gennemført en bluespot kortlægning med en nedbørsdybde 10 mm uden nedsivning (glasplademodellen). I de områder, hvor grundvandsstanden står mindre end 0,25 m under terræn er det kortlagt, at der vil være oversvømmelser (bluespots) mens der i de øvrige områder ikke vil være oversvømmelser, da afstanden til grundvandet her tillader, at jorden kan aflede eller magasinere nedbøren.

Oversvømmelseskortet på Figur 3.2 viser et udsnit af kortlægningen med vanddybden på terræn ved den kombinerede hændelse for den vådeste måned pr. år og 10 mm nedbør. Med en forudsætning om, at der er sammenfald mellem den måned, hvor grundvandsstanden står højest og én af de dage, hvor vinternedbøren overstiger 10 mm vil gentagelsesperioden for oversvømmelserne være 1 gang om året.

På Figur 3.2 (a) ses vanddybden på terræn, som den er kortlagt i rasterformat og kategoriseret i 6 klasser i forhold til vanddybden. På Figur 3.2 (b) ses vanddybden på terræn vektoriseret i 5 klasser i forhold til dybden. Den vektoriserede kortlægning indeholder ikke vanddybder i intervallet 0 - 0,1 m, da denne dybde normalt ikke anses for at være skadeforvoldende.



Figur 3.2 (a) viser vanddybden på terræn, som den er kortlagt i rasterformat og kategoriseret i 6 klasser. (b) viser vanddybden på terræn vektoriseret i 5 klasser i forhold til dybden

Det kombinerede grundvands- og nedbørskort er klimafremskrevet til år 2100 efter RCP8.5 ved at 10% percentilen for afstanden til grundvandet er fremskrevet. Såfremt grundvandsstanden øges med klimafremskrivningen, vil udbredelsen af det kombinerede grundvands- og nedbørskort også øges.

3.3 OVERSVØMMELSE I MARSKEN

I marskområderne i Esbjerg Kommune opleves der hyppigt oversvømmelse i løbet af vinteren. Oversvømmelsen er forårsaget af en kombination mellem flere faktorer:

1. En generelt høj afstrømning i vandløbene, hvoraf blandt andre Kongeåen og Ribe Vesterå fører vand fra store oplande. Marskområderne indenfor Esbjerg Kommune modtager vand fra samlet ca. 2.000 km² opland, hvilket i grove træk svarer til ca. 32 m³/s over vintermånederne december-februar, eller ca. 250 mio. m³ vand.
2. Havvandstanden i Vadehavet kan i længere perioder stå højt, så sluserne i vandløbene ved udmundingen til havet er lukkede og skaber en "badekars-effekt" i marsken bag diget. Store dele af marsken ligger terrænmæssigt lavt omkring kote 1,0 – 1,5 m DVR90, og er særligt udsatte for oversvømmelse ved længerevarende perioder med høj havvandstand og lukkede sluser.
3. Flere områder af marsken er generelt lavtliggende og kotemæssigt terrænnært vandstanden i vandløb og grøfter. Dette medfører en generelt høj grundvandsstand igennem året med lav kapacitet i jordmatricen for nedsivning. Det ses bla. også ved det generelle behov for gennemgrøftning af marsken. Vintermåned med meget nedbør vil af denne grund hurtigt resultere i oversvømmelse på terræn i lavninger, hvor vandet ikke kan trænge ned i jorden og ikke har mulighed for at afstrømme til nærmeste grøft eller vandløb.

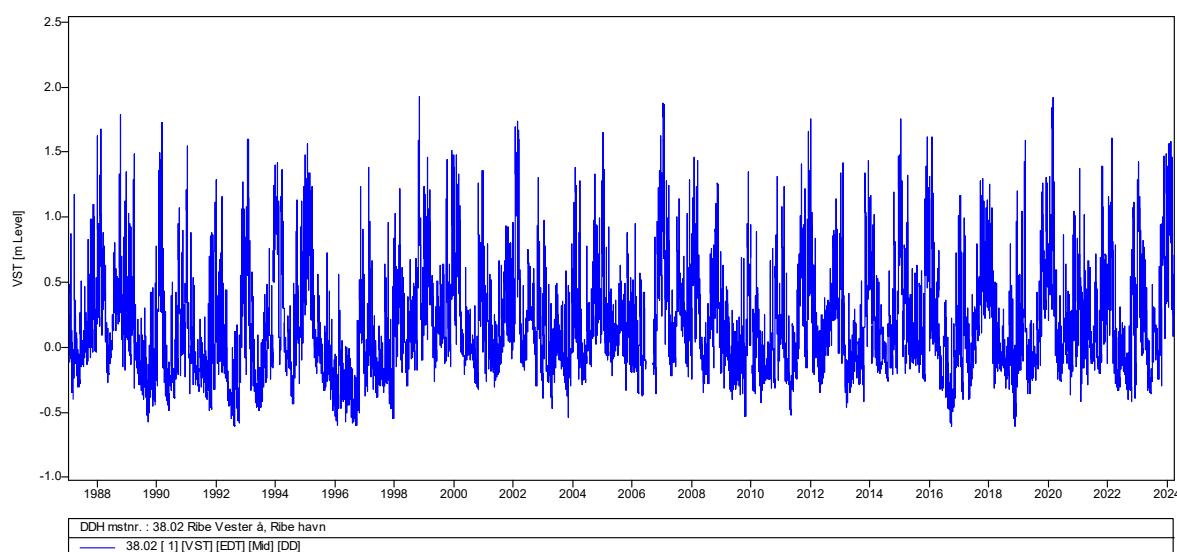
Fordi oversvømmelsen af marsken er forårsaget ved kombinationen af forskellige "oversvømmelseskilder", er det vanskeligt at give et entydigt statistisk indblik i hyppigheden hvormed ekstreme oversvømmelser forekommer. Kilderne til oversvømmelse (afstrømning, havvandstand og nedbør) har dårlig korrelation med hinanden ud over

sammenhængen af, at ekstreme hændelser for alle 3 typisk vil forekomme i vintermånederne. Der er f.eks. dårlig statistisk sammenhæng mellem at en ekstrem stormflodshændelse vil forekomme på samme tidspunkt som en ekstrem afstrømningshændelse i vandløbene.

Af denne grund blev det besluttet at udarbejde oversvømmelseskortlægningen af marsken selvstændigt fra de øvrige analyser, og at gøre dette på baggrund af målte vandstands niveauer i de større vandløb, som gennemløber marsken. Analysen er baseret på målestationer i vandløbene Kongeå, Ribe Vesterå, Sneum Å og Darum Bæk. På baggrund af datagrundlaget, er det aftalt med Esbjerg Kommune at modellen opstilles for en ”hyppig ekstrem” hændelse, svarende til ca. en 10-års gentagelsesperiode. Kortlægningen skal gengive de oversvømmelser i marsken som kommunen har oplevet, og som de oplever jævnlige.

Historiske målinger af vandstande i følgende målestationer er benyttet under analysen, se eksempel på Figur 3.3.

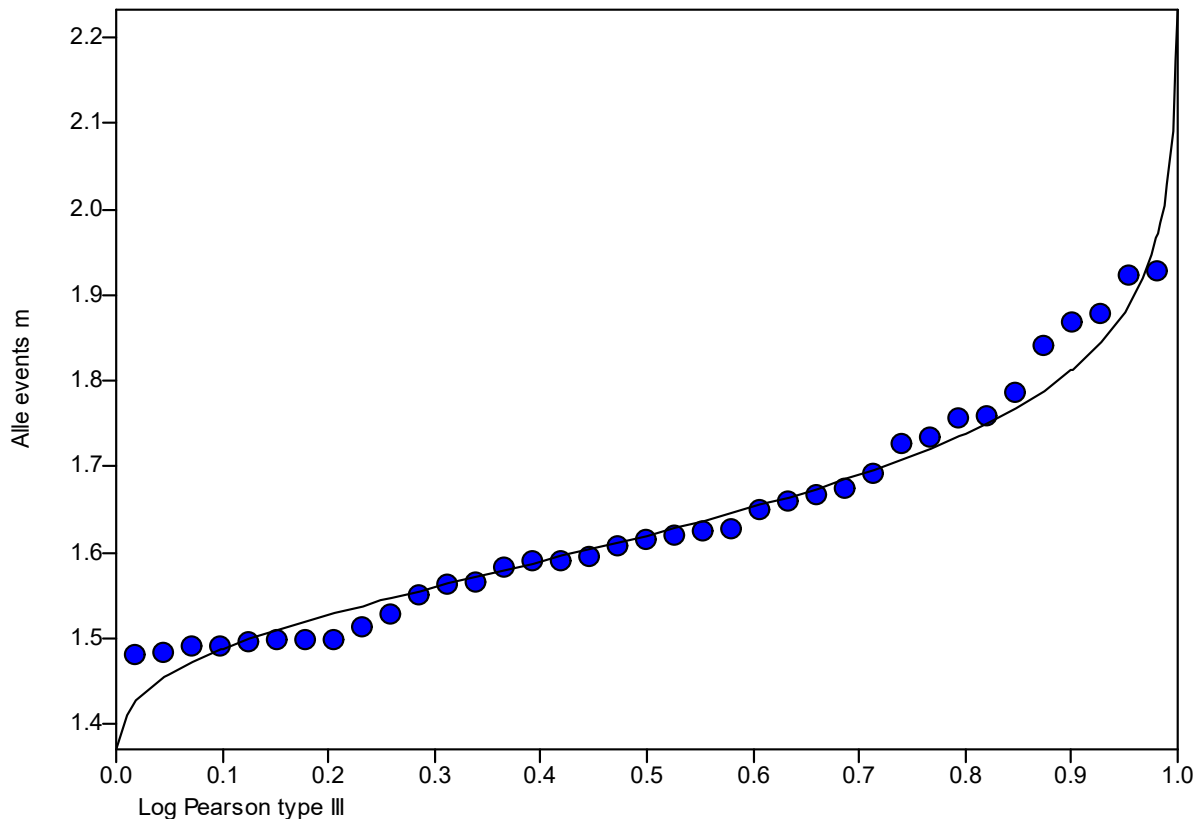
- 38.02 Ribe Vesterå, Ribe Havn (1987 – 2024)
- 38.05 Ribe å, Kammerslusen indvendig (1987 – 2024)
- 36.02 Kongeå, slusen indvendig (1989 – 2024)
- 36.04 Kongeå, Vilslev Stemmeværk (2007 – 2024)
- 39.12 Darum Bæk, os Vesterkjær og Bramling udløb (2023 – 2024)
- 35.04 Sneum å, slusen indvendig (2000 – 2024)
- 35.18 Sneum å, os. Jernbanen (2018 – 2024)



Figur 3.3 Eksempel på vandstandsmålinger v. DDH mstnr. 38.02 Ribe Vesterå, Ribe Havn.

På baggrund af de hydrometriske målinger foretages en ”Peak-over-threshold” analyse (POT). Metoden benyttes til at isolere og betragte enkeltstående ekstremhændelser. Herunder kan varighed og peak-vandstand udtrækkes af datasættet. På baggrund af udtrækket kan der foretages ekstremstatistiske analyser, som kan beskrive sandsynligheden for ekstreme vandstandsniveauer iht. målestationens observationer.

På Figur 3.4 ses et eksempel på den statistiske beregning for sandsynligheden (x-aksen) af ekstreme vandstande (y-aksen). Observationerne plottes mod en distribution som giver det bedste fit. I dette tilfælde ”Log Pearson type III”.



Figur 3.4 Resultat af statistisk distribution fra Peak-Over-Threshold (POT) analyse v. Ribe Vesterå, Ribe Havn.

På baggrund af det statistiske udtræk i målestationerne er vandstands niveauet i hovedvandløbene igennem marsken beskrevet for nuværende forhold. Den resulterende oversvømmelse beskrives via en vandløbsmodel, hvor alle øvrige og væsentlige vandløb og grøfter som tilløber hovedvandløbene inkluderes.

Til at beskrive fremtidige forhold foretages to vurderinger. Tildels vurderes det, at den generelle stigning af havvandstanden mod RCP8.5 i år 2100, vil give en tilsvarende effekt inde i marsken, da vandet kun kan transporteres igennem sluseanlæggene via gravitation. Vand fra havet vil dog fortsat ikke kunne trænge ind i marsken, og det skal således også vurderes, hvorvidt oplandet til marsken kan føre tilstrækkeligt vand til området når sluserne er lukket til at understøtte det forskudte vandstands niveau under fremtidssceneriet.

Det generelle havvandsstands niveau forventes at stige med +60 cm mod år 2100 RCP8.5. Ved analyse af størrelsen af lavningen i marsken ift. vandføringen i oplandet, vurderes det, at der ikke vil være en tilstrækkelig vandtilstrømning til at understøtte en direkte forskydelse af oversvømmelsen i marsken ift. den stigende havvandstand.

Ud fra beregningerne, vurderes det at den ”hyppige ekstreme” hændelse, som er beskrevet for 2020 vil stige med op til +30-50 cm mod klimasceneriet RCP8.5 i år 2100, afhængigt af hvor i marsken.

3.4 OVERSVØMMELSE FRA SKYBRUD

Kortlægningen af oversvømmelser fra skybrud udenfor byerne er gennemført baseret på ”Blue Spots”. Blue spot kortlægningen er gennemført således, at oversvømmelsen af lavninger uden afløb er beregnet ud fra det vandvolumen, som tilledes fra lavningens lokale opland. Vandvolumenet til hver enkelt lavning er bestemt ud fra nedbørmængden og størrelsen på det direkte opland til lavningen samt ”overløbsvandmængder” fra opstrøms liggende lavninger.

Kortlægningen er gennemført i SCALGO Live for nedbørshændelser med gentagelsesperioder på 5, 10, 20, 50 og 100 år. Kortlægningen er udarbejdet for de nuværende klimatiske forhold og klimafremskrevet til år 2100 efter RCP8.5 i år. Nedbørsmængderne ved de forskellige gentagelsesperioder er bestemt på baggrund af Spildevandskomiteens regionale regnrækker for Esbjerg Kommune.

Klimafremskrivningen af nedbørsmængderne til år 2100 er foretaget med klimafaktorer, som er estimeret ud fra DMI's KlimaAtlas.

Tabel 3.1 Klimafaktorer og nedbørsdybder i mm for en 4-timers hændelse ved beregningsscenarierne.

T [ÅR]	KLIMAFAKTOR	Nedbørsdybde 4h [mm]		AFSTRØMNING [mm]	
	RCP8.5 2100	NUVÆRENDE	RCP8.5 2100	NUVÆRENDE	RCP8.5 2100
5	1,31	31	41	0	10
10	1,34	37	49	6	18
20	1,35	43	58	12	27
50	1,40	52	73	21	42
100	1,44	60	87	29	56

I oversvømmelseskortlægningen for skybrud i det åbne land er der regnet med, at en del af nedbøren nedsiver. For at beskrive nedsivningen under skybrud er nedsivningsdybden i beregninger sat svarende til nedbørsdybden for en 5 års hændelse under nuværende forhold. Jf. Tabel 3.1 vil nedsivningsdybden i beregningerne dermed blive på 31 mm. Det svarer til, at der under de nuværende forhold vil forekomme afstrømning på terræn i det åbne land sjældnere end hvert 5. år.

Nedsivningsdybden i det åbne land er kun tilgængelig, når jorden er tør. Ved vandmættede forhold efter længerevarende våde perioder, typisk i vinterhalvåret, kan nedsivningsdybden i nogle områder være meget reduceret. Det kan føre til hyppigere oversvømmelser end kortlægningen angiver. Denne type oversvømmelser er medtaget i de kombinerede grundvands-nedbørskort.

Til beregning af oversvømmelserne er nedsivningsdybden fratrukket nedbørsdybden således, at det kun er den nedbørsdybde, som overstiger nedsivningsdybden, der bidrager til afstrømningen på terræn. Afstrømningen er angivet i Tabel 3.1 og er grundlaget for nedbørskortlægningen fra skybrud i det åbne land i Esbjerg Kommune.

I oversvømmelseskortlægningen for skybrud i byerne indgår kloaksystemet kapacitet ikke direkte. Derimod er der lavet et fradrag i nedbørsdybden i forhold til kloakkens kapacitet. I Esbjerg Kommune findes der både separat- og fælleskloakerede oplande. Serviceniveauet for separatkloakken er på 5 år mens det for fælleskloakken er på 10 år. Baseret på nuværende dimensioneringspraksis vil de dermed i teorien kunne bortlede, hvad der svaret til hhv. 31 og 37 mm jf. Tabel 3.1 før der forekommer opstuvning til terræn. I kortlægningen er det dog antaget, at samtlige kloakker har en kapacitet svarende til en 5 års hændelse og dermed kan bortlede 31 mm. Dette er foretaget ud fra en antagelse om, at fælleskloakken generelt er ældre end separatkloakken og fortætningen i oplandene ikke har indgået i dimensioneringen af fælleskloakken. Dermed er kapaciteten i fælleskloakken reduceret med fortætningen gennem udviklingen og udvidelsen af byerne.

Med den beskrevne metode er nedbørskortlægningen i byerne gennemført med afstrømningsdybderne som angivet i Tabel 3.1.

3.5 OVERSVØMMELSE FRA VANDLØB

Ved modellering af oversvømmelse fra vandløb er det valgt at benytte SCALGOs River Network Model som beregningsmodul og beriget denne med data fra VASP- og HYMER-databasen, som ejes og opereres af WSP.

Vandløbsmodellen er opbygget som en 1-dimensionel stationær vandløbsmodel koblet på den digitale terrænmodel. Beregningerne udføres iht. Manningformlen, hvor vandløbenes geometriske udformning, modstanden i vandløbene og vandføringen indgår som beregningsparametre.

3.5.1 GEOMETRI

For vandløbene angivet i nedenstående Tabel 3.2 er geometrien i modellerne beskrevet på ud fra eksisterende opmålinger.

Tabel 3.2 Oversigt over vandløb og længdeprofiler der anvendt i vandspejlsberegningerne

VANDLØB	VASP LÆNGDEPROFIL	ÅR FOR OPMÅLING
Guldager Møllebæk	Guldager_Møllebæk 2017 Regulativstationeret (ESB DATAB.)	2017
Fovrfelt Bæk	Fovrfeldt - Regulativstationering	2012
Spangsbjerg Møllebæk	Landsyd I/S 2019 Spangsbjerg Møllebæk - regulativstationeret	2019
Høe Bæk - Lysmosegrøften	LandSyd I/S, 6740 Bramming - Regulativstationering	2012
Hjortvad Å	Hjortvad Å - opmåling 1988/89 med opmålinger fra 2022	1988/89 og 2022
Søndre kanal	Landinspektørgården I/S, 6740 Bramming	2006
Ribe Østerå	Laipo af Landinspektørgården I/S, 6740 Bramming opmåling 02-06-2003	2003
Stampemøllåen	Tilrettet efter projektbeskrive Kopi af Landinspektørgården I/S, 6740 Bramming	2019
Haulund Bæk	Landinspektørgården I/S, 6740 Bramming	2012

For de øvrige vandløb i Esbjerg Kommune er vandløbsnetværket for kortlægningen udpeget på baggrund af type 1, 2 og 3 vandløb iht. Vandområdeplan III (2021 – 2027). Vandløbenes kortlægning i vandområdeplanen er dog varierende iht. deres geometriske beskrivelse, og er mange steder for groft optegnet til at give en korrekt repræsentation af vandløbenes placering, længde og udformning. Der er af denne årsag udarbejdet en ny optegning af vandløbsnetværket, hvor alle vandløb er geokodet iht. GeoDanmarks vandløbsmidte.

Vandløbsgeometrien for vandløbene er beskrevet som tværsnitsprofiler langs vandløbene iht. højdemodellen. Der er udtrykt et tværsnitsprofil hver 100. meter på åbne strækninger samt umiddelbart opstrøms og nedstrøms rørlægninger/broer som er identificeret iht. GeoDanmarks vandløbsmidte.

Geometrien i rørlægninger og broer indgår ikke i modellen. Vandløbsgeometrien under vandløbets vandspejl beskrives ikke i højdemodellen og indgår derfor ikke i modellen. Den manglende beskrivelse af geometrien under vandløbets vandspejl i højdemodellen er korrigeret på 2 måder:

- På naturlige vandløbsstrækninger (udenfor stuvningspåvirkning) korrigeres vandspejlsberegningerne ved, at en årsmiddelfafstrømning fratrækkes afstrømningen i scenarieberegningen. Med denne korrigerende medfølger en antagelse om, at den vanddækkede geometri på den naturlige vandløbsstrækning tilsvarende en årsmiddelfafstrømning.
- På strækninger, hvor vandstanden er stuvningspåvirket og derved antageligt ikke beskrevet på baggrund af en årsmiddelfafstrømning, korrigeres vandspejlsberegningen yderligere ved en justering af manningtallet.

3.5.2 HYDROMETRI

Beskrivelse af afstrømningsværdier for de udvalgte hændelser, T = 5, 10, 20, 50 og 100 år er baseret på WSP's HYMER-database der indeholder et stort antal tidsserier for målestationer i hele landet. Afstrømningsværdierne er fremskrevet efter klimafaktorer bestemt af GEUS.

Gentagelsesperioden for ekstreme afstrømningshændelser er beskrevet på baggrund af en 30-årig referenceperiode, som spænder fra 1990 – 2020. De udvalgte målestationer har omkring 15 års data indenfor den referenceperiode. På baggrund af disse krav er der udvalgt 14 målestationer til beregningerne i Esbjerg Kommune, som skaber en tilfredsstillende dækning af vandløbssystemer og -oplande.

Tabel 3.3 Oversigt over hydrometriske målestationer anvendt i beregningerne i Esbjerg Kommune

DDH MSTNR.	DMU MSTNR.	VANDLØB	OPLAND [KM ²]	ANTAL ÅR I STATISTIK	STATISTISK DISTRIBUTION
31.13	310027	Varde Å, Vagtborg	815	30	Log normal 2P
31.18	310016	Alslev Å, Forumbro	86	28	Log Pearson type III
35.100	350011	Smørpøt Bæk, os Gummesebæk	7	30	Pearson type III
35.03	350010	Sneum Å, Nørå bro	224	30	Normal
35.16	350018	Bramming-Holsted Å, Golfbanen	210	23	Normal
36.01	360008	Kongeå, Kongebroen	387	28	Pearson type III
36.04	-	Kongeå, Vilslev Stemmeværk	427	30	Log Pearson type III
38.11	380023	Hjortvad Å, Bremkrog	118	18	Log Pearson type III
38.01	380024	Ribe Å, Stavnager	675	30	Pearson type III
38.32	-	Gels Å, S for Enderupskov	309	14	Normal
38.34	380107	Gram Å, Petersholm	184	14	Pearson type III
39.11	390002	Rejsby Å, NØ for Rejsby	43	30	Pearson type III
39.09	390001	Brøns Å, Forsøgsdambruget	94	30	Pearson type III

Til beskrivelse af afstrømning i de klimafremskrevne scenarier er der anvendt data fra GEUS, der har beregnet klimafaktorer for ekstremvandføring i vandløb. Dette er nærmere beskrevet i "Henriksen, Olsen, & Trolborg, 2013, *Klimaeffekter på hydrologi og afstrømning – klimaekstremvandføring*". Klimafaktorerne beskriver et forhold mellem maksimum i referenceperioderne 1961-1990 og 2021 - 2050.

Tabel 3.4 Oversigt over klimafaktorer for vandløbsafstrømning, RCP 8.5 i år 2100

DDH MSTNR.	DMU MSTNR.	KLIMAFAKTOR T = 5 ÅR	KLIMAFAKTOR T = 10 ÅR	KLIMAFAKTOR T = 20 ÅR	KLIMAFAKTOR T = 50 ÅR	KLIMAFAKTOR T = 100 ÅR
31.13	310027	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
31.18	310016	1,56	1,52	1,50	1,48	1,46
35.10	350011	1,42	1,41	1,41	1,40	1,39
35.03	350010	1,42	1,41	1,41	1,40	1,39
35.16	350018	1,42	1,41	1,41	1,40	1,39
36.01	360008	1,26	1,24	1,24	1,23	1,24

36.04	-	1,26	1,25	1,24	1,23	1,23
38.11	380023	1,43	1,43	1,42	1,42	1,42
38.01	380024	1,33	1,32	1,31	1,32	1,33
38.32	-	1,33	1,32	1,31	1,32	1,33
38.34	380107	1,33	1,32	1,31	1,32	1,33
39.11	390002	1,30	1,30	1,33	1,35	1,37
39.09	390001	1,63	1,74	1,82	1,90	1,94

Der findes i IPCC's hovedrapport ikke nogen beskrivelse af den forventede ændring af vandløbenes afstrømning eller nogle konkrete tal på klimafaktorer, men GEUS' rapport tager udgangspunkt i IPCC's bud på ændrede forhold i det hydrologiske kredsløb (nedbør, fordampning, nedsivning m.v.) og på denne baggrund er der beregnet en forventet ændring (klimafaktor) i vandløbenes afstrømning. Klimafaktoren er beregnet for 3 kategorier; lav, middel og høj. I denne undersøgelse er der overført beskrivelser af klimafaktorer fra GEUS' rapport til RCP-scenarierne med den tilnærmelse, at en "høj" klimafaktor svarer til RCP8.5 i år 2100.

Resultaterne fra målestationerne og tillagte klimafaktorer giver følgende ekstreme afstrømningsværdier.

Tabel 3.5 Specifikke afstrømning ved hydrometriske målestationerne under nuværende forhold

DDH MSTNR.	DMU MSTNR.	ÅRSMID. [L/S/KM ²]	Q(T = 5 ÅR) [L/S/KM ²]	Q(T = 10 ÅR) [L/S/KM ²]	Q(T = 20 ÅR) [L/S/KM ²]	Q(T = 50 ÅR) [L/S/KM ²]	Q(T = 100 ÅR) [L/S/KM ²]
31.13	310027	15	46	49	54	58	62
31.18	310016	13	91	109	128	152	171
35.10	350011	14	108	123	137	151	161
35.03	350010	15	67	73	77	83	86
35.16	350018	16	67	73	77	82	86
36.01	360008	17	56	61	65	70	74
36.04	-	17	60	66	71	77	82
38.11	380023	13	98	116	133	157	174
38.01	380024	15	53	59	64	70	74
38.32	-	16	54	60	64	70	73
38.34	380107	14	60	67	74	81	86
39.11	390002	14	85	95	104	115	123
39.09	390001	13	62	69	75	81	86

Tabel 3.6 Specifikke afstrømning ved hydrometriske målestationerne under scenarie RCP 8.5 i år 2100

DDH MSTNR.	DMU MSTNR.	ÅRSMID. [L/S/KM ²]	Q(T = 5 ÅR) [L/S/KM ²]	Q(T = 10 ÅR) [L/S/KM ²]	Q(T = 20 ÅR) [L/S/KM ²]	Q(T = 50 ÅR) [L/S/KM ²]	Q(T = 100 ÅR) [L/S/KM ²]
31.13	310027	15	67	72	79	85	90
31.18	310016	13	142	166	191	225	250
35.10	350011	14	153	174	193	212	224

35.03	350010	15	95	103	109	116	120
35.16	350018	16	95	102	109	115	120
36.01	360008	17	71	75	81	86	91
36.04	-	17	76	82	88	95	101
38.11	380023	13	140	166	189	222	248
38.01	380024	15	71	78	84	92	98
38.32	-	16	72	79	84	92	97
38.34	380107	14	80	89	96	107	114
39.11	390002	14	110	124	139	156	169
39.09	390001	13	101	120	136	155	166

3.5.3 RANDBETINGELSER VED HAV

Ved vandløbenes udløb skal der i modellen defineres en nedre randbetingelse. Stationære vandspejlsberegninger foretages nedefra og opstrøms, og randbetingelsen definerer således beregningens begyndelsepunkt, og har stor betydning for strækningerne tæt på havet.

Vandstanden ved havet beskrives i vandløbsmodellen som en normalvandstand, svarende til den gennemsnitlige årlige vandstand. Havvandsstanden er ikke beskrevet som en ekstrem havvandstandshændelse, da der ikke findes statistisk grundlag til at eftervise nogen væsentlig samtidighed mellem ekstreme afstrømningshændelser i vandløb og ekstreme havvandstandshændelser.

Vandstanden er beskrevet på baggrund af DMI's klimaatlas, som angiver både nuværende havvandstande samt klimafremskrevne forhold i de danske kyster. Randbetingelsen i havet er beskrevet under de nuværende forhold og de klimafremskrevne forhold, se Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Randbetingelser til vandløbsmodellens udløb i hav

SCENARIO	VADEHAVET
Nuværende (2020)	0 cm
RCP 8.5 (2100)	58 cm

3.5.4 MODSTANDSFORHOLD

Manningtallet beskriver energitabet i vandløb, og er i mere bogstavelig forstand den parameter i beregningen, som beskriver de ting i vandløbet som bidrager til modstand for vandets bevægelse og udgøres af f.eks. vegetation, sten, slyng, dødt ved m.v. Valg af Manningtal er en vanskelig opgave, idet artsforekomsten, fordelingen og tætheden af grøde alle har betydning. Hertil har fysiske karakteristika i vandløbet såsom slyngningsgrad eller bundsubstrat også en væsentlig rolle.

I indeværende analyse er der opstillet en Manningtals-matrice, hvor Manningtallet er fastlagt på baggrund af to primære faktorer; vandløbsbredde og oplandsareal. Matricen er ikke nødvendigvis retvisende for alle vandløb ift. de lokale forhold som kunne være gældende, men skal ansues som vejledende værdier for typiske og normalt forekommende Manningtal ift. vandløbsbredde og oplandsareal.

Det er under udarbejdelsen af Manningtals-matricen overvejet hvorvidt også vandløbenes fald skulle indgå som en beskrivende parameter for vandløbenes Manningtal. For at undgå at overkomplicere matricen blev dette dog fravalgt. Samtidig kan det betragtes, at vandløbenes faldforhold til en vis grad er inkluderet i matricen i forholdet

mellem vandløbsbredde og oplandsareal. Det kan betragtes, at et vandløb med et stort oplandsareal og en smal vandløbsbredde, også nødvendigvis må have et højt fald. På samme vis vil et vandløb med et lille oplandsareal og en stor vandløbsbredde, også nødvendigvis have et lavt fald. Værdierne, som er indført i Manningtals-matricen drager inspiration fra de empiriske værdier beskrevet i Bilag B til rapporten ”Afprøvning af forslag til metode til konsekvensvurdering af ændret vandløbsvedligeholdelse” udarbejdet af DCE i 2015.

Lille vandløb (Vandspejlsbredde 1-2 meter)	Manningtal $m^{1/3}/s$
• med tæt grødevækst:	4-8
• med spredt grødevækst:	8-12
• med nyskåret strømrende på 50% af bredden:	8-15
• uden grødevækst:	12-18
Mellem vandløb (Vandspejlsbredde 2-5 meter)	Manningtal $m^{1/3}/s$
• med tæt grødevækst:	8-12
• med spredt grødevækst:	12-15
• med nyskåret strømrende på 50% af bredden:	12-15
• uden væsentlig grødevækst:	16-24
Større vandløb (Vandspejlsbredde 5-10 meter)	Manningtal $m^{1/3}/s$
• med tæt grødevækst:	12-16
• med spredt grødevækst:	15-20
• med nyskåret strømrende på 50% af bredden:	15-20
• uden væsentlig grødevækst:	20-30

Figur 3.5 Grundlag for udarbejdelsen af manningtalsmatricen

		Oplandsareal [km ²]													
		0.5	1	2	5	10	20	50	100	250	500	1000	>2000		
Vandløbsbredde [m]	1	8	8	9	9	10	11	11	12	12	13				
	2	9	10	11	12	12	13	14	15	15	16	17			
	3	11	12	13	13	14	15	16	17	18	18	19	20		
	4	12	13	14	15	16	16	17	18	19	20	21	22		
	5	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
	6		14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
	7		15	16	17	18	20	21	22	23	24	25	26		
	8		16	17	18	19	20	21	23	24	25	26	27		
	9			17	19	20	21	22	23	24	26	27	28		
	10			18	19	20	22	23	24	25	26	28	29		
	11				20	21	22	23	25	26	27	28	30		
	12				20	21	23	24	25	26	28	29	30		
	13					22	23	24	26	27	28	30	31		
	14						24	25	26	28	29	30	31		
	16							26	27	28	30	31	33		
18								28	29	31	32	33			
20									30	31	33	34			
25										33	35	36			

Figur 3.6 Manningtalsmatrice

Manningtallet er bestemt ud fra oplandsarealet og tværsnitsbredden.

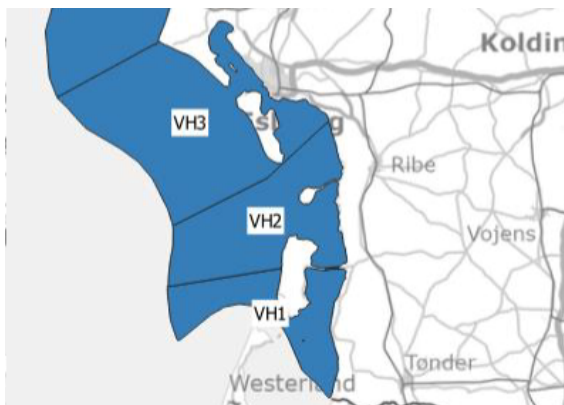
Oplandsarealet for hvert tværsnit er bestemt ud fra strømningsvejene og dertil hørende afstrømningsopland.

Vandløbsbredden for hvert tværsnitsprofil er lavet ved at koble GeoDanmarks vandløbskant og de enkelte tværsnit. Vandløbskant er et landsdækkende vektorlag, hvor vandløbskanten er optegnet manuelt, her er vandløbskanten angivet som kronekant, hvilket er antaget at være beskrivende for de undersøgte hændelser.

3.6 OVERSVØMMELSE FRA STORMFLOD

Oversvømmelseskortlægningen fra havet er foretaget ud fra de forventede stormflodshændelser, som truer de kystnære arealer i Esbjerg Kommune. Oversvømmelseskortlægningen er udarbejdet med stormflodsværktøjet i SCALGO Live. For områder, hvor terrænniveauet ligger lavere end vandstanden og der er kontakt til havet, er der beregnet oversvømmelser.

For kyststrækningerne i Esbjerg Kommune er der beregnet oversvømmelser fra stormflodshændelser med gentagelsesperioder på 20, 50 og 100 år. Stormflodshændelserne er baseret på data fra DMI's klimaatlas. I Klimatlasset er Vadehavet opdelt i 3 dele som det fremgår af Figur 3.7.



Figur 3.7 Opdeling af Vadehavet fra Klimaatlasset

Med udgangspunkt i Vadehavets opdeling er stormflodsværdierne angivet i Tabel 3.8 anvendt i stormflodskortlægningen.

Tabel 3.8 Stormflodshændelser langs Esbjerg Kommunes kyst, som benyttes i kortlægningen

KYSTKODE	T20 NUV.	T50 NUV.	T100 NUV.	T20 RCP 8.5 ÅR 2100	T50 RCP 8.5 ÅR 2100	T100 RCP 8.5 ÅR 2100
VH1	421 cm	450 cm	471 cm	481 cm	510 cm	531 cm
VH2	441 cm	470 cm	488 cm	499 cm	528 cm	546 cm
VH3	371 cm	391 cm	404 cm	429 cm	449 cm	462 cm